

CARACTERIZACIÓN DE INDICADORES BIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS EN ALFISOLES, MOLISOLES Y VERTISOLES DE ENTRE RÍOS

SILVIA BENINTENDE; MARIA BENINTENDE; DANIEL DAVID; MARIA STERREN & MARIANO SALUZZIO

Recibido: 20-04-11

Recibido con revisiones: 28-08-11

Aceptado: 11-11-11

CHARACTERIZATION OF BIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS IN ALFISOLS, MOLLISOLS AND VERTISOLS OF ENTRE RÍOS

ABSTRACT

Entre Ríos soils have been developed on different materials and in a varied topography, which has resulted in a variety of soils. The objectives of this paper were to characterize and establish relationships between biological and biochemical indicators of soil quality in areas of minimum disturbance in Mollisols, Vertisols and Alfisols of Entre Ríos and to analyze their similarities and differences. Soil samples were taken in areas with minimal disturbance and biological and biochemical indicators were measured: organic C (Corg), total N (Ntot), microbial biomass C and N (CBM and NBM), N mineralized in 7 days anaerobic incubations (N-IA) and respiration. Metabolic quotient (qCO_2) and relationships between these variables were estimated. Results showed a wide range of extreme values of biological indicators. The differences found between extreme values were: 16% for Corg, 16.5% for Ntot, 33% for CBM, 46% for NBM and 62% for N-IA. The variables that were highlighted were: N-IA, CBM and CBM/Corg. In relation to the evaluated variables, soils belonging to the order Vertisol could be grouped first, followed by vertic Argiudoll. To establish critical levels of soil quality indicators, reference values will be required for each soil subgroup, while subgroups belonging to Vertisols may be grouped.

Key words. Microbial biomass, potentially mineralized N.

RESUMEN

Los suelos de la provincia de Entre Ríos se han desarrollado sobre diferentes materiales originarios y en una topografía variada, lo que ha resultado en un rico mosaico de suelos. Los objetivos del trabajo fueron caracterizar y establecer relaciones de indicadores biológicos y bioquímicos de calidad de suelos en áreas de mínimo disturbio en Molisoles, Vertisoles y Alfisoles de la provincia de Entre Ríos y analizar sus similitudes y diferencias. Se tomaron muestras de suelos de áreas con un mínimo disturbio y se determinaron los indicadores biológicos y bioquímicos: C orgánico (Corg), N total (Ntot), C y N de biomasa microbiana (CBM y NBM), N mineralizado en incubaciones anaeróbicas de 7 días (N-IA) y respiración. Se estimó el cociente metabólico (qCO_2) y relaciones entre estas variables. Los resultados permitieron observar un amplio rango entre valores extremos de los indicadores biológicos. La diferencia encontrada entre valores extremos fue de: 16% para Corg, 16,5% para Ntot, 33% para CBM, 46% para NBM y 62% para N-IA. Las variables destacadas fueron: N-IA, CBM y CBM/Corg. En relación a las variables evaluadas, los suelos que se pudieron agrupar fueron los pertenecientes al orden Vertisol, en primer término y luego el intergrado con Molisol. Para establecer niveles críticos de indicadores de calidad de suelos será necesario contar con valores de referencia para cada subgrupo de los suelos, agrupando solamente aquellos pertenecientes a los Vertisoles.

Palabras clave. Biomasa microbiana, potencial de mineralización de N.

Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Ruta 11, km 10. 3101. Paraná Entre Ríos Tel: 0343 4975075 int 123

Autor para correspondencia: silviab@fca.uner.edu.ar

Ci. SUELO (ARGENTINA) 30(1): 23-29, 2012

INTRODUCCIÓN

El suelo es el resultado de la interacción entre los factores de formación: clima, topografía, vegetación, material de origen y tiempo. Su calidad ha sido definida como su capacidad de funcionar de manera equilibrada con los demás componentes de los sistemas, ya sean estos naturales o modificados por el hombre (Doran y Safley, 1997).

De acuerdo a Astier-Calderón *et al.* (2002) las funciones principales de un suelo pueden resumirse en: proveer un medio para el crecimiento de las plantas, regular y distribuir el flujo de agua en el ambiente y servir como amortiguador de los cambios. Este concepto toma por un lado las propiedades intrínsecas del suelo y sus interacciones y, por otro lado, las relaciones del suelo con el medio ambiente. Es decir, el suelo tiene una calidad que se percibe a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas en un ambiente determinado por el clima y los demás componentes del ecosistema. Por lo tanto, estas propiedades se constituyen en los indicadores de su calidad.

Este concepto de «calidad inherente» podría interpretarse como calidad para la producción de una amplia gama de cultivos sin provocar daños en el suelo, el agua y el aire.

Haynes y Tregurtha (1999) consideran que tanto las propiedades biológicas como las bioquímicas de los suelos están íntimamente vinculadas con diversas funciones que se realizan en el medio y son muy sensibles a las perturbaciones que pueden ocasionar distintos manejos, por lo que los considera indicadores apropiados de la calidad del suelo. En relación a la selección de indicadores, Doran y Parkin (1996) y Arshad y Martin (2002) proponen un conjunto mínimo de datos a ser utilizado para evaluar calidad. Se citan entre ellos al C orgánico, C y N de la biomasa microbiana, potencial de mineralización de N y respiración. Por otra parte, los indicadores derivados a partir de la relación entre otros dos, como cociente metabólico y proporción de C en forma de biomasa microbiana aportan información adicional de gran utilidad, especialmente cuando los valores absolutos de los indicadores no resultan adecuados para definir la calidad de un suelo (Sparling, 1997). Este mismo autor destaca la necesidad de contar con valores de referencia de los indicadores que permitan diferenciar los suelos con niveles naturalmente bajos, de aquellos cuyos bajos niveles se deban a degradación o contaminación.

Los suelos de la provincia de Entre Ríos se han desarrollado sobre diferentes materiales de origen y en una topografía también variada, lo que ha resultado en un rico mosaico de suelos cuyas características difieren en cortas

distancias. En la región de mayor uso agrícola de la provincia se encuentran al menos tres órdenes de suelos a los que se consideró de interés caracterizar los indicadores biológicos y bioquímicos en el presente trabajo, puesto que suponemos sus diferencias pueden ser reflejadas por un grupo de indicadores biológicos y bioquímicos.

Los objetivos del trabajo fueron caracterizar y establecer relaciones de indicadores biológicos y bioquímicos de calidad de suelos en áreas de mínimo disturbio en Molisoles, Vertisoles y Alfisoles de la provincia de Entre Ríos y analizar sus similitudes y diferencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron áreas donde la acción antrópica fue mínima (bajo alambrado, parque o monte nativo) en tres órdenes de suelo: Molisol, Vertisol y Alfisol (Fig. 1).

Entre los Molisoles se seleccionaron dos subgrupos representativos del orden en un área de uso agrícola de la provincia de Entre Ríos: Arguidoles ácuicos (parque) (AA) y Arguidoles



Figura 1. Localización de los sitios de muestreo de suelos. Referencias: a: Arguidol ácuico; b: Arguidol vértico; c: Ocracualf vértico; d: Peludert árgico; e: Peludert arguidólico.

Figure 1. Sampled sites. Referencias: Aquic Arguidoll; Vertic Arguidoll; Vertic Ochraqualf; Argic Peludert, e: Arguidollic Peludert.

vérticos (bajo alambrado) (AV). En general son suelos con limitaciones menores para la producción agrícola y en la región tienen una larga historia con este uso (Plan Mapa de Suelos 1998, Plan Mapa de Suelos 2001).

Entre los suelos correspondientes al orden Vertisol se seleccionaron Peludertes árgicos (bajo alambrado) (PA) y Peludertes argiudólicos (bajo alambrado) (PAud). Son suelos con limitaciones físicas y químicas para el uso agrícola, relacionadas al tipo de arcillas dominantes (de tipo expandible) y al régimen hídrico. Si bien estos suelos pueden almacenar cantidades importantes de agua, el rango aprovechable es escaso y presentan problemas de aireación, resistencia a la penetración y, en general escasa profundidad efectiva de enraizamiento. En el pasado fueron utilizados para cría de ganado, combinado con el cultivo de arroz cuando la topografía lo permitía, y cultivo de lino en algunas zonas. Este manejo ocurrió hasta hace unos años, el cual fue suplantado principalmente por el cultivo de soja (Plan Mapa de Suelos 2003).

Los Alfisoles son suelos que presentan limitaciones similares a las descritas para los Vertisoles, agravadas por la escasa o nula pendiente del paisaje en que se desarrollaron. Se eligió un subgrupo que representa una intergradación con el orden Vertisoles, un Ocracualf vértico (monte) (OV) con muy poca pendiente y ubicado en una zona donde se realizan desmontes para utilización agrícola (Plan Mapa de Suelos 1998).

Las principales características del horizonte superficial de cada suelo se presentan en la Tabla 1 (Plan Mapa de Suelos 1998, 2001 y 2003). Para la determinación de las variables de estudio se tomaron tres muestras compuestas de 20 submuestras de cada sitio en el espesor de 0 a 15 cm de profundidad. Sobre muestras secas, molidas y tamizadas por 2 mm se analizó C orgánico (Corg) por Walkley y Black, N total (Ntot) por Kjeldahl, pH por potenciometría (relación suelo: agua 1:2.5). Sobre muestras conservadas en heladera luego de tamizar por 8 mm se analizó C y N de biomasa microbiana (CBM y NBM, respectivamente) utilizando las técnicas de Vance *et al.* (1987) (ISO 1997) y Brookes *et al.* (1985) respectivamente, N mineralizado en incubaciones anaeróbicas de 7 días (N-IA) por la

técnica de Waring and Bremmer (1964) y respiración por incubación durante siete días.

Se calculó el cociente metabólico (qCO_2) haciendo la relación entre la respiración y el CBM, y expresando los resultados en $\mu gCO_2/\mu g$ de CBM.h. También se calculó la relación CBM/Corg a partir de los valores de CBM y del C orgánico del suelo.

Los muestreos se realizaron en la primavera del año 2008 en un período comprendido entre el 20 de octubre y el 14 de noviembre. La temperatura del suelo fue de $24\text{ }^\circ\text{C} \pm 1,3\text{ }^\circ\text{C}$ y la humedad al momento del muestreo estuvo entre 45% y 90% del agua retenida a capacidad de campo. Las precipitaciones acumuladas en los treinta días anteriores al muestreo fueron bajas en relación al promedio histórico para el PAud y para el PA (23 mm), medias para el AA (60 mm) y para el OV (68 mm) y altas en el AV (160 mm).

Se realizó un análisis de la amplitud de los valores encontrados estableciendo el rango para todos los suelos evaluados en cada indicador, lo que refleja la sensibilidad del mismo ante las diferencias de suelo.

Se utilizó un test de Wilkes Shapiro para probar la normalidad de la distribución de las variables; posteriormente se evaluó el si existió diferencias entre los suelos mediante un análisis de la varianza (ANOVA) y se realizó una comparación de medias usando un test de diferencias mínimas significativas (LSD) con un $\alpha \leq 0,05$. Para seleccionar variables con mayor capacidad de mostrar las diferencias entre los suelos estudiados se realizó un análisis de componentes principales (ACP). También se realizó un Análisis de Conglomerados que permita mostrar el encadenamiento de los suelos con la finalidad de agrupar aquellos semejantes. Finalmente se aplicó un análisis de correlación (Pearson) entre las variables (Di Renzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las variables analizadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Características del horizonte superficial de los suelos estudiados.

Table 1. Characteristics of the surface soil A horizons used in the study.

Suelos	Espesor horizonte «A» (cm)	Arcilla [g (100 g suelo seco) ⁻¹]	Equivalente de humedad [g (100 g suelo seco) ⁻¹]	CIC (cmol kg ⁻¹)	pH al agua 1:2.5
Argiudol ácuico	17	27,6	26,9	23,8	5,7
Argiudol vértico	21	35,4	33,6	38,4	6,1
Peludert argiudólico	24	36,8	35,7	36,2	6,6
Peludert árgico	16	40,5	41,2	39,8	7,3
Ocracualf vértico	12	29,9	32,0	31,0	6,1

Tabla 2. Valores medios de las variables biológicas y bioquímicas de los suelos estudiados.
Table 2. Mean values of the biological and biochemical variables measured in the studied soils.

Suelo	Corg	Ntot	N-IA	CBM	NBM	Respiración	Corg/Ntot	CBM/NBM	CBM/Corg	N-IA/Ntot	NBM/Ntot	$qCO_2 \times 10^{-4}$
Argiudol ácuico	27,5B	2,39C	77,6C	731,8A	107,3A	1.19B	11,5A	6,9BC	2,67A	3,24A	4,48A	6,5B
Argiudol vértico	27,3B	2,82A	98,2A	490,5D	88,8B	1.42AB	9,7C	5,6C	1,80D	3,48A	3,14B	12,2AB
Peluderte argiudólico	29,0A	2,62B	93,9AB	635,4B	57,1C	1.81AB	11,1AB	11,3A	2,20BC	3,58A	2,17C	10,3AB
Peluderte árgico	28,7A	2,49B	85,8BC	567,1C	76,8B	2.12A	11,5A	7,4B	1,98CD	3,46A	3,10B	14,9A
Ocracualf vértico	24,4C	2,36C	37,4D	588BC	80,3B	0,75B	10,3BC	7,4B	2,41B	1,59B	3,41B	5,9B

Nota. Números seguidos de igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas LSD $\alpha = 0,05$.

Note. Values with the same letters within columns do not present significant differences according to the LSD at an $\alpha = 0.05$.

Unidades: C org: $g\ kg^{-1}$; N tot: $g\ kg^{-1}$; N-IA: $\mu g\ (g\ suelo\ seco)^{-1}$; CBM: $\mu g\ (g\ suelo\ seco)^{-1}$; NBM: $\mu g\ (g\ suelo\ seco)^{-1}$; Respiración: $\mu g\ CO_2\ (g\ suelo\ seco \cdot h)^{-1}$; qCO_2 : $\mu g\ CO_2\ (\mu g\ CBM \cdot h)^{-1}$

Los menores valores de Corg, Ntot y N-IA se hallaron en el OV, los valores más altos de Corg en el PAud y los de Ntot y N-IA en el AV. El rango de Corg fue de 0,66% que representa una diferencia de 16% entre valores extremos. En Ntot esta diferencia fue de 16,5%, en cambio en N-IA fue de 62%.

El N-IA representó entre 1,5 y 3,8% del Ntot, las menores proporciones correspondieron al OV y las más altas al PAud.

Los mayores valores de CBM y NBM se encontraron en el AA y mientras que los menores valores de CBM correspondieron al AV y los de NBM al PAud. La diferencia entre valores extremos fue de 33% para CBM y de 46% para NBM.

En respiración los valores mayores se encontraron en el PA y los mínimos en el OV. La diferencia entre valores extremos para respiración fue de 59%.

Los valores promedio de las variables analizadas y las diferencia entre valores extremos resultan similares a los encontrados por Benintende *et al.* (2008) al trabajar con rotaciones con cultivo de arroz en un Peluderte árgico. Valores algo superiores fueron informados por Alvear *et al.* (2007) en suelos Andisoles del centro-sur de Chile con uso forestal luego de 13 años, pero duplican los informados por Pinzari *et al.* (1999) en suelos arenosos de una reserva ubicada en el centro de Italia. Los niveles de CBM informados en este trabajo son más altos que los encontrados por Lucizano García (2007) en suelos del sur de Brasil muestreados en primavera, en tanto que los niveles de NBM son similares.

Los valores de CBM/Corg se encuentran comprendidos en el rango de valores reportados por Sparling (1997)

quien trabajó sobre suelos de una amplia gama de texturas (franco-arcillo-limosos, franco-arcillosos, franco arenosos y franco-limosos). Este indicador presentó una gradación entre los suelos estudiados. No ocurrió lo mismo con N-IA/Ntot. El CBM/Corg y el NBM/Ntot caracterizan la calidad de la materia orgánica así como la eficiencia de conversión de Corg y de Ntot en CBM y NBM, respectivamente (Sparling, 1997). El qCO_2 utilizado para evaluar efectos ambientales y antropogénicos sobre la actividad de la biomasa microbiana, es considerado un indicador sensible para estimar potencial de descomposición de la materia orgánica del suelo (Bittencourt Barreto *et al.*, 2008). Los valores de qCO_2 encontrados en este trabajo resultan similares a los informados por Pinzari *et al.* (1999).

Estos resultados permitieron confirmar lo expresado por Benintende *et al.* (2008) acerca de la sensibilidad de los indicadores biológicos para detectar diferencias entre suelos. Estos autores señalan que el potencial de mineralización medido por incubaciones anaeróbicas fue una de las variables que presentó mayor sensibilidad que el C orgánico, ya que, en el trabajo citado, el rango de valores del potencial de mineralización representó un 38% en relación al valor máximo, mientras que para el Corg fue de 15%.

Además del amplio rango entre valores extremos de los indicadores biológicos, las diferencias entre los subgrupos reflejadas en el ANOVA y test LSD (Tabla 2), permitieron destacar a CBM, N-IA y la relación CBM/Corg como los indicadores que reflejan mayores diferencias y distinguen mejor entre los cinco suelos evaluados. En el ACP (Tabla 3 y Fig. 2), entre otras variables, se destacaron N-IA en la CP1 y CBM en la CP2.

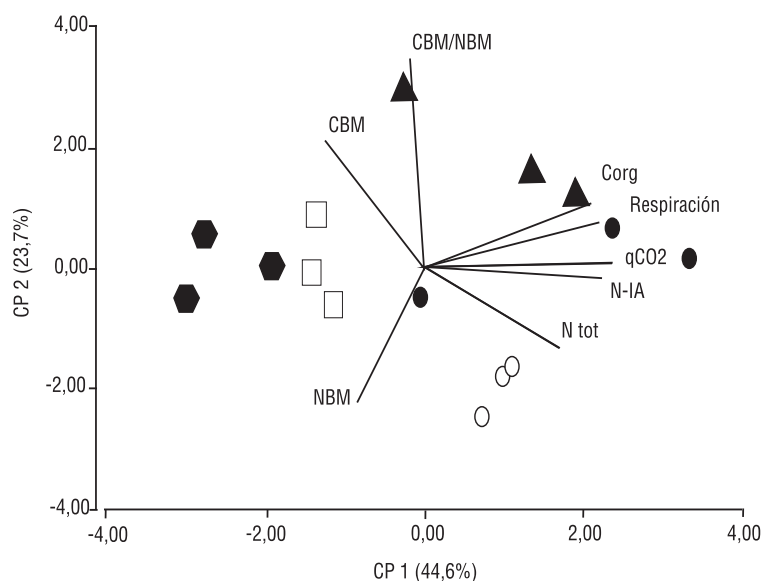


Figura 2. Biplot de Análisis de Componentes Principales (ACP) para los suelos evaluados.

Figure 2. Biplot Principal Component Analysis for the studied soils.

Referencias:

Ochracalf vértico (●), Argiudol ácuico (□) y el Peluderte árgico (●), Peluderte argiudólico (▲) y Argiudol vértico (○)

Los valores encontrados en estos indicadores no resultaron coincidentes al ordenar los suelos; así en el Argiudol vértico se encontró el mayor N-IA pero el menor CBM y la menor proporción CBM/Corg. Ante resultados similares, Sparling (1997) explica que una alta biomasa microbiana no está relacionada necesariamente a una mayor fertilidad de suelos indicada por el nivel de N potencialmente disponible como ha sido sugerido por diversos autores.

Del análisis multivariado por Componentes Principales surge que las dos primeras componentes (CP1 y CP2) explicaron el 68,3% de la variación de los datos. La CP1 diferenció el OV y el AA del PA. En tanto que la CP2 marcó la diferencia entre el PAud y el AV (Fig. 2). Los vectores correspondientes a qCO_2 , N-IA, y respiración fueron los de mayor peso en CP1, en tanto que la relación CBM/NBM, NBM y CBM lo fueron en CP2 (Tabla 3).

Esta distribución de los suelos Vertisoles junto al Molisol integrado con Vertisol (Fig. 2) parece asociarse al contenido de arcillas del horizonte superficial (Tabla 1). Sin embargo los datos edáficos de la Tabla 1 no se incluyeron en el ACP porque se dispone de un solo dato por cada subgrupo.

Tabla 3. Análisis de Componentes Principales de los suelos estudiados.

Table 3. Principal component analysis of the studied soils.

Variable	E1	E2
N-IA	0,44	-0,04
CBM	-0,25	0,42
NBM	-0,17	-0,45
Corg	0,42	0,21
Ntot	0,34	-0,27
Respiración	0,44	0,15
qCO_2	0,47	0,01
CBM/NBM	-0,04	0,69

E1 y E2: valores de ponderación de cada variable en los CP1 y CP2 .
E1 and E2: ponderation values for each variable in CP1 and CP2.

El análisis de conglomerados con las variables analizadas dio como resultado una correlación cofenética de 0,836 que indica buen ajuste (Fig. 3). El PA y PAud son los suelos que se agruparon a una menor distancia y luego lo hicieron con el AV. Por otra parte, se agrupan el AA y el OV. Este resultado coincide con el arrojado por el ACP en el que se mostró similitud entre estos dos últimos suelos a través de este análisis.

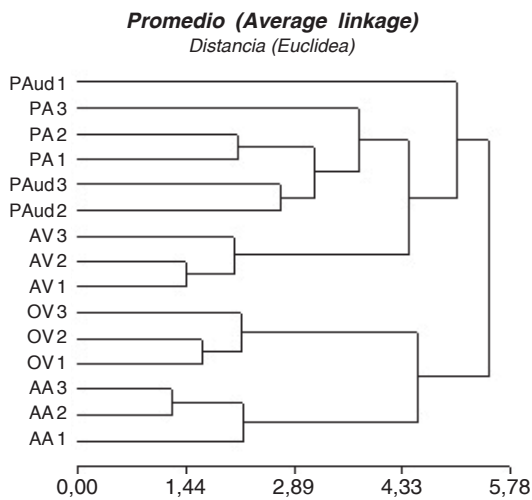


Figura 3. Biplot de conglomerados para los suelos evaluados: Ochraqualf vértico (OV), Argiudol ácuico (AA) y el Peluderte árgico (PA), Peluderte argiudólico (PAud) y Argiudol vértico (AV).

Figure 3. Biplot of conglomerates for the studied soils: Vertic Ochraqualf (OV), Aquic Argiudoll (AA), Argic Peludert (PA), Argiudollic Peludert (Paud) and Vertic Argiudoll (AV).

Mediante el análisis de correlación se encontró asociación positiva y significativa de N-IA con Corg. ($r = 0,78$), con Ntot. ($r = 0,64$) y con respiración ($r = 0,54$). En tanto que la relación CBM/NBM sólo presentó asociación negativa con la proporción de NBM/Ntot ($r = -0,52$).

Estos resultados permiten pensar la posibilidad del uso complementario de dos o más indicadores en diferentes ambientes en cuanto al suelo. Los valores presentados corresponden a una situación de mínimo disturbio por lo que supone toman niveles extremos.

CONCLUSIONES

Las variables destacadas como indicadores fueron: N-IA, CBM y CBM/Corg. En relación a las variables evaluadas, los suelos que podrían agruparse son los pertenecientes al orden Vertisol, en primer término y luego al intergrado con Molisol. Para establecer niveles críticos de indicadores de calidad de suelos será necesario contar con valores de referencia para cada subgrupo de los suelos, agrupando solamente aquellos pertenecientes a los Vertisoles, y de esta forma diferenciar entre suelos con niveles naturalmente bajos, de aquellos casos en que los niveles bajos sean ocasionados por degradación o contaminación.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado en el marco de PID UNER.

Ci. SUELO (ARGENTINA) 30(1): 23-29, 2012

BIBLIOGRAFÍA

- Alvear, M; F Reyes; A Morales; C Arriagada & M Reyes. 2007. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología Austral* 17: 113-122.
- Arshad, MA & S Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 88: 153-160.
- Astier-Calderón, M; M Maass-Moreno & J Ethevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Benintende, S; M Benintende; M Sterren & J De Battista. 2008. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. *Ecological Indicators* Vol. 8(5): 704-708.
- Bittencourt Barreto, P; E Forestieri; A Gama-Rodríguez; N De Barros & S Fonseca. 2008. Actividade microbiana, carbono e nitrógeno da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em seqüência de idades. *R. Bras. Ci. Solo* 32: 611-619.
- Brookes, PC; A Landman; G Pruden & DS Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 17: 837-842.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2008., InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Doran, JW & M Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: Pankhurst, C. Double, BM Gupta, V. (edits.) Biological indicators of soil health. CAB international, Wallingford pp 1-28.
- Doran, JW & TB Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, JW; Coleman, DC; Bezdick, DF; Stewart, BA (edits.). 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication Number 35, Chapter 1. p. 3-21 Haynes RJ and R Tregurtha. 1999. Effects of increasing periods under intensive arable vegetable production on biological, chemical and physical indices of soil quality. *Biol. Fertil. Soils* 28: 259-266.
- ISO 14240-2. 1997. Soil quality. Determination of soil microbial biomass Part 2: Fumigation-extraction method.
- Lucizano Garcia, MR. 2007. Indicadores microbiológicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo agropecuario. Tesis doctoral. Jaboticabal. SP Brasil. en: <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/micro/d/2731.pdf>
- Plan Mapa de Suelos. 1998. Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento de Paraná, Provincia de Entre Ríos. Acuerdo complementario Convenio INTA - Gob. Entre Ríos, EEA Paraná. Serie de Relevamiento de Recursos Naturales N° 17, 114 p.
- Plan Mapa de Suelos. 2001. Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento de Nogoyá, Provincia de Entre Ríos. Acuerdo complementario Convenio INTA - Gob. Entre Ríos, EEA Paraná. Serie de Relevamiento de Recursos Naturales N° 20, 292 p.
- Plan Mapa de Suelos. 2003. Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento de Uruguay, Provincia de Entre Ríos. Acuerdo complementario Convenio INTA - Gob. Entre Ríos, EEA Paraná. Serie de Relevamiento de Recursos Naturales N° 22, 356 p.
- Pinzari, F; A Trincherá; A Benedetti & P Sequi. 1999. Use of biochemical indices in the mediterranean environment: comparison among soils under different forest vegetation. *Journal of Microbiological Methods* 36: 21-28.

- Rodriguez De Lima, AC; WB Hoogmoed & L Brussaard. 2008. Soil Quality Assessment in Rice Production Systems: Establishing a Minimum Data Set. *J. Environ. Qual.* 37: 623-630.
- Sparling, GP. 1997. Soil Microbial Biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. *In: Pankhurst, C. Double, BM Gupta, V. (edits.) Biological indicators of soil health.* CAB international, Wallingford pp 97-119.
- Vance, ED; PC Brookes and DS Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry* 19: 703-707.
- Waring, SA and JM Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature (London)* 201: 951-952.